

QV BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP99/05664

09/786826



REC'D	22 SEP 1999
WIPO	PCT

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Bescheinigung**

Die Deutsche Telekom AG in Bonn/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter  
der Bezeichnung

"Optische Verbindungsstrecke"

am 9. September 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüngli-  
chen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol  
H 04 B 10/12 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 30. April 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Zeichen: 198 41 068.9

Joost

## Optische Verbindungsstrecke

### Technisches Gebiet:

5 Die Erfindung betrifft eine bewegliche optische Verbindungsstrecke mit wenigstens einer Lichtleitfaser, insbesondere zur Nachrichtenübertragung oder zur interferometrischen Messung.

### Stand der Technik:

10 Optische Glasfaserstrecken zur Übertragung von Informationen mit Licht sind sowohl für lange Strecken in der Telekommunikation als auch für kurze Strecken innerhalb von Gebäuden und Fahrzeugen und Maschinen, aber auch in elektronischen Rechenmaschinen von großem Vorteil, da sie eine hohe Datenübertragungsdichte bei geringen Leistungsverlusten gewährleisten. Besonders bei der Verbindung von optischen Sensoren zur Messung physikalischer Parameter wie Druck, Temperatur usw. sind Glasfaserzuleitungen und Glasfaserableitungen günstig, da sie dünn und flexibel sind, dabei aber mechanisch sehr dauerhaft. Des Weiteren können sie im Gegensatz zu elektrisch leitenden Verbindungen keine elektrischen Überschläge und Kurzschlüsse verursachen. Die hohe Übertragungskapazität der Glasfaser erlaubt es, Sensoren und Meßeinrichtungen zu ändern oder aufzurüsten, ohne die Verbindungsstrecken auszuwechseln, was in Fahrzeugen, Gebäuden, Maschinen oder Produktionseinrichtungen erhebliche Einsparungen ergeben kann. Oft müssen die Glasfaserverbindungen mechanisch bewegt werden, z. B. in Robotern, aber auch in Gebäuden und Fahrzeugen sind dehnungsbedingte Bewegungen zwischen verschiedenen Bauteilen häufig.

25

30 Glasfaserstrecken zur Informationsübertragung sind daher immer dann besonders vorteilhaft, wenn hohe Informationsdichten übertragen werden sollen und die Verbindung mechanisch flexibel sein muß, da Sender und Empfänger der Information einen zeitabhängig variablen örtlichen Abstand voneinander haben.

35 Hierbei tritt das Problem auf, daß bei großen Positions- und insbesondere Abstandsänderungen von Sender und/oder Empfänger in Form einfacher Kabel vorliegende optische Verbindungsstrecke die Gesamtanordnung, z.B. ein Roboter mit Fernsteuerung, durch die notwendige Längenreserve des

Kabels behindert werden kann. So können einzelne Teile, welche über eine optische Verbindungsstrecke miteinander kommunizieren, durch Kabelschlaufen mechanisch blockiert werden. Weiterhin kann es zu "Kabelsalat" kommen.

5

Ein weiteres Problem bei Positions- und Abstandsänderungen von Sender und/oder Empfänger ist durch die Natur des optischen Übertragungssignals begründet:

10 Bei Nachrichtenübertragungen hoher Qualität und Übertragungsfrequenz muß der Polarisationszustand des optischen Nachrichtenflusses in der Lichtleitfaser sowie in den übrigen optischen Komponenten kontrolliert werden. Im Fall kohärenter Übertragungen müssen z. B. interferenzfähige Mischungen des optischen Nachrichtenflusses mit anderen Lichtquellen erfolgen, die nur dann optimal sind, wenn die Polarisationszustände annähernd gleich sind. Bei hochbitratigen Übertragungen limitiert die Polarisationsmodendispersion der Faser die Empfangsqualität, und nur durch eine sorgfältige Kontrolle der Polarisation kann die Übertragungsfrequenz erhöht werden. Auch in vielen anderen optischen Bauteilen hängt die

15 Leistung von der Polarisation des Lichtes ab.

20

Der Polarisationszustand des Lichtes in einer Glasfaser ist im allgemeinen nicht konstant. Jede Glasfaser hat eine gewisse elliptische Doppelbrechung, so daß sich die Polarisation des Lichtes in der Faser kontinuierlich ändert. Diese Änderung pflanzt sich bis zum Ende der Faser fort, und da sie von der Geometrie der Faserkurve im Raum abhängt, ändert sich der Polarisationszustand am Ausgang einer bewegten Faser mit der Bewegung.

25

30 Dieser Polarisationseffekt wird bisher dadurch vermindert, daß die optische Nachrichtenübertragung in einer der Eigenmoden einer polarisationserhaltenden Faser erfolgt. Diese polarisationserhaltenden Fasern sind sehr stark doppelbrechend, so daß eine Überkopplung zwischen den beiden Polarisationsmoden in der Faser praktisch nicht erfolgt. Da es sich bei der Polarisationsänderung des Lichtes in einer Glasfaser um einen Effekt der

35 Phasenverschiebung zwischen den Eigenmoden des Lichtes handelt, tritt die Polarisationsmodendispersion nicht auf, wenn sich das Licht in der Faser permanent nur in einer Eigenmode fortpflanzt.

Der Nachteil dieser Methode ist der, daß die polarisationserhaltenden Fasern teuer sind. Außerdem muß die Einkopplung des Lichtes am Eingang der polarisationserhaltenden Faser in einem definierten Polarisationszustand erfolgen.

5

Technische Aufgabe:

10

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine optische Verbindungsstrecke zur Verfügung zu stellen, bei welcher die geschilderten Probleme nicht auftreten. Insbesondere soll zur Gewährleistung einer hohen Übertragungsqualität der Polarisationszustand des Lichts nicht wesentlich von Formänderungen der Verbindungsstrecke und damit von Positionsänderungen von Sender und Empfänger abhängen. Des weiteren soll die Verbindungsstrecke an Formänderungen, insbesondere Längenänderungen leicht anpaßbar, dabei aber stets übersichtlich sein.

15

Offenbarung der Erfindung:

20

Die Aufgabe wird gelöst durch eine optische Verbindungsstrecke mit wenigstens einer Lichtleitfaser, insbesondere zur Nachrichtenübertragung, bei welcher die Lichtleitfaser mehrfach gebogen ist, wobei Faserstücke mit Rechts- und Linkskrümmung derart über die Verbindungsstrecke verteilt angeordnet sind, daß die über die Verbindungsstrecke gemittelte Torsion der Faser etwa Null ist.

25

Die erfindungsgemäße optische Verbindungsstrecke ist somit derart gestaltet, daß die Empfindlichkeit des Polarisationszustands des optischen Übertragungssignals gegenüber Formänderungen der Verbindungsstrecke bzw. der Lichtleitfaser weitgehend kompensiert ist. Dieses ist erfindungsgemäß dadurch gewährleistet, daß die Lichtleitfaser mehrfach gebogen ist, wobei Faserstücke mit Links- und Rechtskrümmung derart über die Verbindungsstrecke verteilt angeordnet sind, daß die über die Verbindungsstrecke gemittelte Torsion der Faser etwa Null ist. Vorzugsweise gilt dieses auch für einzelne Unterabschnitte der Faser, so daß Links- und Rechtskrümmungen gleichmäßig über die Faser verteilt sind. Vorzugsweise ist die Faser schraubenförmig abwechselnd als Rechts- und Linksschraube gewunden. Es sind auch Mischformen mit einem ebenen Mäander möglich.

30

Grundlage dieser Erfindung ist die bewegungs- und formabhängige Doppelbrechung einer optischen Faser: Die lineare Doppelbrechung hängt

35

stark von der Elliptizität des Faserkerns, weniger stark von der Biegung der Faser und kaum von der Schraubenwindung mit großem Radius der Faser ab. Demgegenüber hängt die zirkulare Doppelbrechung kaum von der Elliptizität des Faserkerns und von der Biegung der Faser ab, dagegen sehr stark von der Schraubenwindung der Faser. Die Hauptursache für die Formabhängigkeit des Polarisationszustandes am Ausgang einer Glasfaser ist die starke Abhängigkeit der optischen Aktivität der Faser von der genauen Form ihrer Schraubenwindungen. Dieser Effekt ist in erster Näherung achromatisch und verursacht keine Polarisationsmodendispersion. Er wird durch eine der sogenannten optischen Berry-Phasen, die "Spinredirektionsphase" verursacht (R.Y. Chiao, Y.S. Wu, Phys. Rev. Lett. 57, 933 (1986)). Es handelt sich bei dieser Berry-Phase (oder geometrischen Phase) um einen Phaseneffekt, der durch die Struktur der Raumkurve der Faser verursacht wird und nicht durch einen optischen Weg wie bei der normalen dynamischen Phase des Lichtes. Dennoch haben geometrische Phasen bezüglich der Interferenz des Lichtes dieselben Eigenschaften wie die normale dynamische Phase.

Die Größe der Spinredirektionsphase in einer schraubenförmig gewundenen Faser ist gleich dem Raumwinkel  $\Omega$ , den der  $k$ -Vektor ( $k$  entspricht der Ausbreitungskonstanten  $\beta$  in der technischen Literatur) auf der Kugel der Orientierungen der Lichtausbreitung im Gegenuhrzeigersinn umläuft, wenn das Licht in der Faser durch eine Schraubenwindung geführt wird. Die Spinredirektionsphase ist additiv und ändert ihr Vorzeichen, wenn sich der Schraubensinn der Faser ändert, z. B. von der Links- zur Rechtsschraube.

Zur Reduktion dieses formbedingten Polarisationseffekts muß die Faser aus gewundenen Faserstücken mit wechselndem Windungssinn bestehen. Beispielsweise sind die Faserstücke abwechselnd rechts und links gewunden, wobei der Raumwinkel, die der  $k$ -Vektor in den linksgewundenen Stücken umläuft, gleich dem Raumwinkel ist, den der  $k$ -Vektor in den rechtsgewundenen Stücken umläuft. Im einfachsten Fall folgt die Faser abwechselnd gleichlang und gleichgewunden einer Rechts- und dann einer Linksschraube, oder rechts- und linksgewundene Faserstücke einer festen Länge lösen sich abwechselnd ab.

Zur Reduktion der Polarisationsabhängigkeit von Formänderungen der Faserstrecke müssen die Abschnitte mit Rechts- und Linksschraubenwindung der Faser so auf der Faser verteilt werden, daß sich bei der Formänderung der

Faser die Änderungen  $d\Omega_i$  der Raumwinkel  $\Omega_i$  der  $k$ -Vektoren im  $i$ -ten Faserstück zu Null addieren, also  $\sum d\Omega_i = 0$ .

5 Die Polarisationsvariation eines optischen Signals am Ausgang einer bewegten optischen Verbindungsstrecke mit einer Lichtleitfaser wird vorteilhaft reduziert, indem die Lichtleitfaser mehrfach gebogen wird, wobei Faserstücke mit Rechts- und Linkskrümmung derart über die Verbindungsstrecke verteilt werden, daß die über die Verbindungsstrecke gemittelte Torsion der Faser etwa Null ist.

10

Um die Polarisationsvariation auch bei Formänderungen nur eines Faserteils zur reduzieren, wird die Lichtleitfaser vorzugsweise derart gebogen, daß die über Unterabschnitte der Verbindungsstrecke gemittelte Torsion des Unterabschnitts etwa Null ist. Ein Unterabschnitt ist dabei ein Faserabschnitt, der wenigstens so lang ist, daß er rechts- und linksgewundene Faserstücke enthält, deren Torsion sich jeweils ausgleicht, z.B. zwei aufeinanderfolgende einzelne Rechts- bzw. Linkswindungen.

15

20 Vorteilhaft ist die Lichtleitfaser mit wechselndem Windungssinn um eine gerade Anzahl, vorzugsweise zwei, nebeneinander liegender Trägerelemente gewendet. Dabei kann einer oder mehreren Linkswindungen um eines der Trägerelemente die entsprechende Anzahl von Rechtswindungen um ein anderes Trägerelement folgen.

25

Eine andere Weiterbildung der Verbindungsstrecke sieht vor, daß sie zur Hin- und Rückleitung des Lichtes wenigstens zwei schraubenförmig gewendelte Lichtleitfasern mit unterschiedlichem Windungssinn aufweist. Dabei können vorteilhaft beide Lichtleitfasern um dasselbe Trägerelement gewunden sein, wobei und die äußere der beiden Windungen einen etwas größeren Windungsabstand aufweist, so daß Hin- und Rückleitung etwa gleiche betragsmäßige Torsion mit unterschiedlichem Vorzeichen haben.

30

Damit erlaubt die erfindungsgemäße Verbindungsstrecke Nachrichtenübertragung in bewegten Fasern mit weitgehend reduzierter Polarisationsvariation am Ausgang.

35

Um die Effekte der biegsungs- und spannungsinduzierten Doppelbrechung des Fasermaterials auf den Polarisationszustand des Übertragungssignals zu

vermindern, ist der Windungsradius der Lichtleitfaser nicht zu klein zu wählen. Er beträgt vorzugsweise wenigstens 2 cm, besonders bevorzugt wenigstens 3 cm.

- 5 In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Lichtleitfaser mit einem elastischen Trägermaterial verbunden ist, welches bei mechanischer Belastung eine Formveränderung der Verbindungsleitung ermöglicht und bei Nichtbelastung die Lichtleitfaser in ihrer gebogenen Ausgangsform hält.
- 10 Mit dieser Verbindungsstrecke läßt sich eine kompakte, aber bewegliche und längenveränderliche Verbindung zum optischen Datentransfer zwischen einem Sender und einem Empfänger herstellen. Dadurch wird eine mechanische Behinderung der Gesamtvorrichtung, welche Sender, Empfänger und Verbindungsstrecke umfaßt, vermindert. Des weiteren ist das Ausgangssignal weitgehend unempfindlich gegenüber Formänderungen der Verbindungsstrecke.

- 15 Vorzugsweise ist die Lichtleitfaser schraubenförmig gewendet, z.B. nach Art eines Telefonkabels. Bei Belastung in Längsrichtung der Schraube bzw. des
- 20 Mäanders kann die Verbindungsstrecke zieharmonikaartig auseinandergezogen werden und nimmt bei Wegfall der Belastung wieder ihre kompakte Ausgangsform ein.

- 25 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Lichtleitfaser um wenigstens ein längliches Trägerelement gewunden, z.B. einen Zylinder. Vorzugsweise ist das Trägerelement flexibel. Das Trägerelement ist beispielsweise ein flexibler Stab.

- 30 Zur Realisierung und Stabilisierung ihrer gebogenen Form ist die Faser vorzugsweise am Trägerelement so befestigt, daß sie in ihrer gewundenen Form beweglich ist, aber auf dem Trägerelement stabilisiert bleibt, z.B. indem sie in das Trägerelement eingelassen oder zwischen Trägerelement und einem Hüllmaterial eingebettet ist.

- 35 Kurzbeschreibung der Zeichnung, in der zeigen:  
Figuren 1 bis 3 Beispiele für erfindungsgemäße Verbindungsleitungen zur Reduktion des Formeinflusses auf die Polarisation des Ausgangssignals;

Die Figuren 1 bis 3 zeigen Beispiele für erfindungsgemäße Verbindungsleitungen, welche kompakt, beweglich und flexibel sind. Des weiteren sind sie derart gestaltet, daß der Einfluß der Form der Verbindungsleitung auf die 5 Polarisation des Ausgangssignals reduziert ist. Sie sind also besonders geeignet, relativ zueinander ortsveränderliche optische Sender und Empfänger zum Zwecke der Datenkommunikation miteinander zu verbinden.

10 Im oberen Teil der Figur 1 ist ein Ausschnitt aus einer solchen Verbindungsstrecke dargestellt, welche aus einem Zylinder 2 als Trägermaterial bzw. Trägerelement und einer Lichtleitfaser 1 besteht. Die Lichtleitfaser 1 ist schraubenförmig um den Zylinder 2 gewickelt, wobei der Sinn der Wendelung etwa in der Zylindermitte am Punkt B wechselt. Damit ist die Torsion der Lichtleitfaser im linken Teil der Verbindungsstrecke 15 negativ, im rechten positiv, so daß die gemittelte Torsion etwa Null ist.

20 Um den Sinn der Wendelung auf einem Zylinder zu wechseln, muß ein Bogen B gewickelt werden. Dieser Bogen wird beispielsweise zusammen mit der übrigen Rechts-Links-Wicklung durch Klebstoff oder Schürung auf dem Zylinder befestigt, da er sich sonst löst.

25 Zur Herstellung einer längeren Verbindungsstrecke können sich mehrere derartige Leitungsstücke gemäß Fig. 1 aneinander anschließen. Das dargestellte Faserstück ist dann ein Unterabschnitt, in dem die gemittelte Torsion etwa Null ist.

30 Im unteren Teil der Figur 1 ist schematisch der  $k$ -Vektor des in die Faser eingekoppelten Lichts und der dazugehörige Raumwinkel  $\Omega$  dargestellt. Bezeichnet  $r(s)$  die von der Faser beschriebene Raumkurve als Funktion der Bogenlänge  $s$ , so ergibt sich der Raumwinkel  $\Omega$  als Maß für die Berry-Phase aus der Torsion  $\tau$  der Raumkurve wie folgt ( $s_1, s_2$  bezeichnen den Anfang bzw. das Ende der Faser):

$$\int_{s_1}^{s_2} \tau(s) ds = \Omega \propto \Phi_{\text{Berry}}, \text{ wobei } k(s_1) = k(s_2)$$

35 In Figur 2 sind zwei weitere Beispiele für erfindungsgemäße Verbindungsstrecken bzw. Ausschnitte daraus gezeigt. In Figur 2A ist die Lichtleitfaser 3 doppelt über zwei Zylinder 4, 5 gewickelt. Um den Zylinder 4 beschreibt die

Faser 3 eine Linkswindung (L), um den Zylinder 5 eine Rechtswindung (R). Durch das Abwechseln beider Zylinder wechselt stets eine Rechtsschraubenwindung und eine Linksschraubenwindung ab.

5 Die Glasfaser 3 ist dabei wie eine Telephonzuleitung in ein Material eingebettet, das formbeständig aber hochelastisch ist, so daß die Zuleitung ziehharmonikaartig auseinandergezogen werden kann und sich wieder zusammenzieht, wenn die Spannungskraft nachläßt. Des weiteren können die Zylinder 4, 5 selbst elastisch sein, um eine laterale Bewegung der

10 Verbindungsstrecke zu ermöglichen.

Die Rückleitung des optischen Signals kann durch die gleiche Glasfaser erfolgen, aber z. B. auf einem anderen spektralen Kanal. Da die geometrische Phase achromatisch ist und eine Rechtsschraube (Linksschraube) eine Rechtsschraube (Linksschraube) bleibt, wenn sie in umgekehrter Richtung durchlaufen wird, tritt für die optische Hin- und Rückleitung derselbe Kompensationseffekt für die formabhängigen Polarisationsschwankungen auf.

15 An Stelle von zwei Zylinderwicklungen wie in Fig. 2A, kann die Faser auch über mehr Zylinder, z. B. vier Zylinder 7, 8, 9, 10 geführt werden. Dies ist in Fig. 2B gezeigt. In dem Fall 2B wechseln sich ebenfalls Rechts- und Linksschleifen ab, jeweils gekennzeichnet durch R bzw. L.

20 Es ist grundsätzlich auch möglich, mehrere Linksschleifen auf mehrere Rechtsschleifen folgen zu lassen, indem die Faser mehrfach um einen Zylinder gewickelt wird, ehe sie auf den nächsten Zylinder mit entgegengesetztem Windungssinn geführt wird. Wichtig ist, daß die Formel  $\sum d\Omega_i = 0$  erfüllt bleibt und die Torsion der gesamten Lichtleitfaser ausgeglichen ist.

25 30 Die Achromasie der geometrischen Phase erlaubt es, sowohl Weißlichtquellen als auch mehr oder weniger monochromatische Lichtquellen zu verwenden.

35 Für den Fall einer Hin- und Rückführung des Lichtes durch die gleiche Verbindungsstrecke besteht die Möglichkeit, zwei Zylinderwicklungen nebeneinander anzubringen, von denen die eine, eine Rechtsschraube, als Zuleitung dient und die andere, eine Linksschraube, als Rückleitung. Die elastischen Umhüllungen, die die Formelastizität der Leitung bestimmen, können voneinander getrennt sein, es ist jedoch vorteilhaft, sie zusammen-

hängend zu gestalten, so daß sie sich nicht voneinander trennen können und die Bewegung der Leitung gemeinsam gleichartig mitmachen.

5 In diesem Fall einer einzigen Rechtsschraube als Hin(Rück)-Leitung und einer einzigen Linksschraube als Rück(Hin)-Leitung können die beiden elastischen Wendelungen 11, 12 auch auf einen einzigen Zylinder 13 übereinander gewickelt werden, wie in Figur 3 dargestellt. Da die äußere Wicklung einen etwas größeren Durchmesser hat, muß ihre Steigung etwas größer als die der inneren Wicklung gewählt werden, um die Bedingung  
10  $\sum d\Omega_i = 0$  zu erfüllen.

15 Die hier beschriebenen Zu- und Ableitungen werden beispielsweise zwischen einer ortsfesten Basisstation, z. B. dem Meß- oder Steuergerät und dem beweglichen Sensor, z. B. einem Telephonhörer oder einem anderen Sensor frei gespannt oder durch Rohre oder Drähte mit Zug- und Spannrollen gestützt. Dadurch wird die Abhängigkeit der Polarisation des übertragenden Lichtes von der Bewegung der Leitung reduziert. Eine Anwendung von abwechselnd gewendelten Leitungen der beschriebenen Art ist auch zur beweglichen Verbindung von verschiedenen Kabelstrecken in den  
20 Knotenpunkten der Telekommunikation mit Hilfe von kurzen, mit Steckern ausgerüsteten Glasfaserleitungen günstig. Diese frei beweglichen Verbindungen führen dann eine wesentlich geringere zeitliche Polarisationsänderung in den Nachrichtenfluß der Übertragungsstrecke ein, als die gewöhnlichen Schleifenverbindungen. Außerdem reduzieren sie den  
25 "Kabelsalat".

#### Gewerbliche Anwendbarkeit:

Die Erfindung läßt sich in allen Bereichen, in denen optische Signale über Lichtleitfaserstrecken übertragen werden, gewerblich anwenden. Vorteilhaft ist sie einsetzbar bei Anordnungen mit relativ zueinander positionsveränderlichem Sendern bzw. Empfänger eines optischen Signals, bei denen die Qualität des Übertragungssignals häufig durch Formänderungen der Übertragungsstrecke beeinträchtigt wird.

Patentansprüche

1. Optische Verbindungsstrecke mit wenigstens einer Lichtleitfaser,  
5 insbesondere zur Nachrichtenübertragung, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Lichtleitfaser mehrfach gebogen ist, wobei Faserstücke mit Rechts-  
und Linkskrümmung derart über die Verbindungsstrecke verteilt angeordnet  
sind, daß die über die Verbindungsstrecke gemittelte Torsion der Faser etwa  
Null ist.  
10
2. Optische Verbindungsstrecke nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Lichtleitfaser derart gebogen ist, daß die über Unterabschnitte der  
Verbindungsstrecke gemittelte Torsion des Unterabschnitts etwa Null ist.  
15
3. Optische Verbindungsstrecke nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Lichtleitfaser schraubenförmig abwechselnd als Rechts- und  
Linksschraube gewunden ist.  
20
4. Optische Verbindungsstrecke nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß eine oder mehrere Rechtswindungen auf eine oder mehrere  
Linkswindungen folgen und sich abwechseln, wobei die Länge des  
25 Faserstücks mit Rechtsschraubenwendelung der Länge des Faserstücks mit  
Linksschraubenwendelung entspricht.
5. Optische Verbindungsstrecke nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 daß die Lichtleitfaser mit einem elastischen Trägermaterial verbunden ist,  
welches bei mechanischer Belastung eine Formveränderung der Verbindungs-  
leitung ermöglicht und bei Nichtbelastung die Lichtleitfaser in ihrer  
gebogenen Ausgangsform hält.
- 35 6. Optische Verbindungsstrecke nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Lichtleitfaser um wenigstens ein längliches Trägerelement,  
vorzugsweise einen Zylinder, gewunden ist.

7. Optische Verbindungsstrecke nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Trägerelement flexibel ist.

5

8. Optische Verbindungsstrecke nach einem der Ansprüche 6 oder 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Faser am Trägerelement befestigt derart befestigt ist, daß sie in ihrer  
gewundenen Form beweglich, aber auf dem Trägerelement stabilisiert bleibt.

10

9. Optische Verbindungsstrecke nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Faser in das Trägerelement eingelassen oder zwischen Trägerelement  
und einem Hüllmaterial eingebettet ist.

15

10. Optische Verbindungsstrecke nach einem der Ansprüche 6 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Lichtleitfaser mit wechselndem Windungssinn um eine gerade  
Anzahl, vorzugsweise zwei, nebeneinander liegender Trägerelemente  
gewendet ist.

20

11. Optische Verbindungsstrecke nach einem der Ansprüche 6 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß einer oder mehreren Linkswindungen um eines der Trägerelemente die  
entsprechende Anzahl von Rechtswindungen um ein anderes Trägerelement  
folgt.

25

12. Optische Verbindungsstrecke nach einem der vorangegangenen  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
30 daß sie zur Hin- und Rückleitung des Lichtes wenigstens zwei  
schraubenförmig gewendete Lichtleitfasern mit unterschiedlichem  
Windungssinn aufweist.

30

13. Verbindungsstrecke nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,  
35 daß beide Lichtleitfasern um dasselbe Trägerelement gewunden sind, wobei  
die äußere der beiden Windungen einen etwas größeren Windungsabstand  
aufweist, so daß Hin- und Rückleitung etwa gleiche Torsion mit  
unterschiedlichem Vorzeichen haben.

14. Optische Verbindungsstrecke nach einem der vorangegangenen  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
daß der Windungsradius der Lichtleitfaser größer als 2 cm, vorzugsweise  
5 größer als 3 cm ist.

**Zusammenfassung:**

**Optische Verbindungsstrecke**

Die Erfindung betrifft eine optische Verbindungsstrecke mit wenigstens einer  
5. Lichtleitfaser, insbesondere zur Nachrichtenübertragung, bei welcher die  
Lichtleitfaser mehrfach gebogen ist, wobei Faserstücke mit Rechts- und  
Linkskrümmung derart über die Verbindungsstrecke verteilt angeordnet sind,  
daß die über die Verbindungsstrecke gemittelte Torsion der Faser etwa Null  
10 ist. Die erfindungsgemäße Verbindungsstrecke ist kompakt und flexibel,  
insbesondere längenveränderlich. Des weiteren dient sie zur Reduktion der  
Empfindlichkeit des Polarisationszustand des optischen Signals gegenüber  
Formänderungen der Verbindungsstrecke.

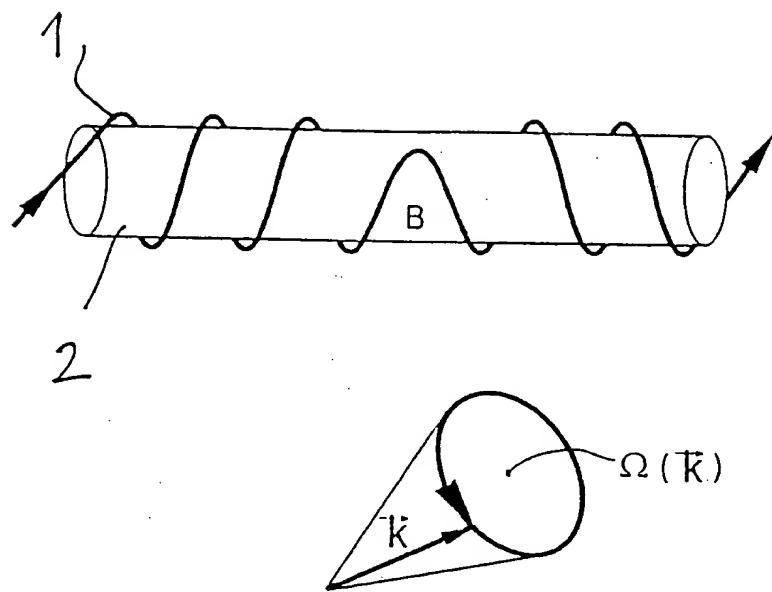
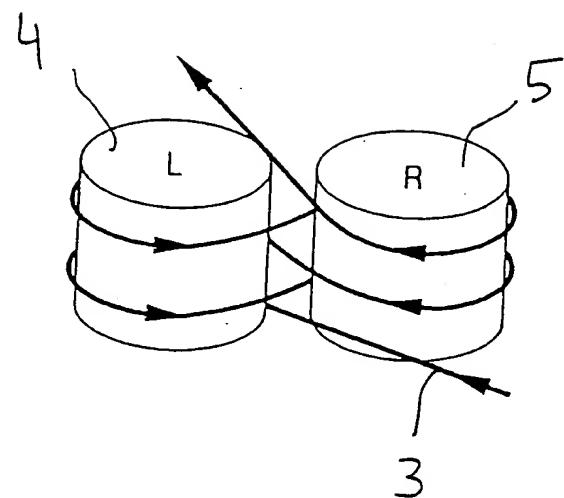
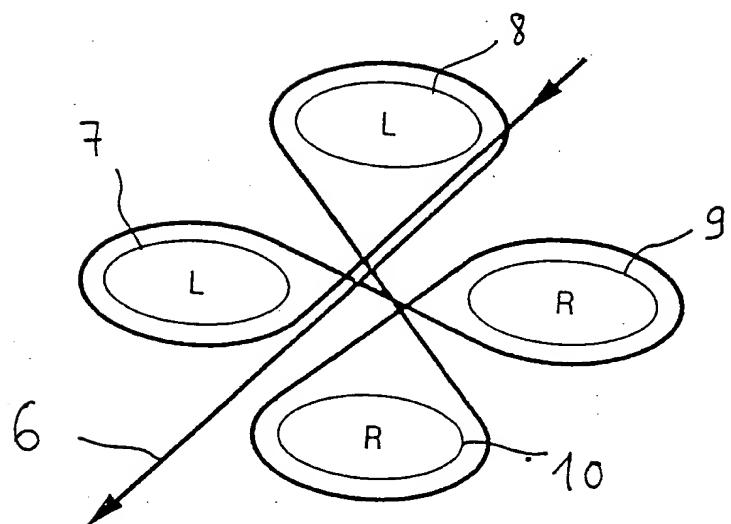


FIG. 1



A



B

FIG. 2

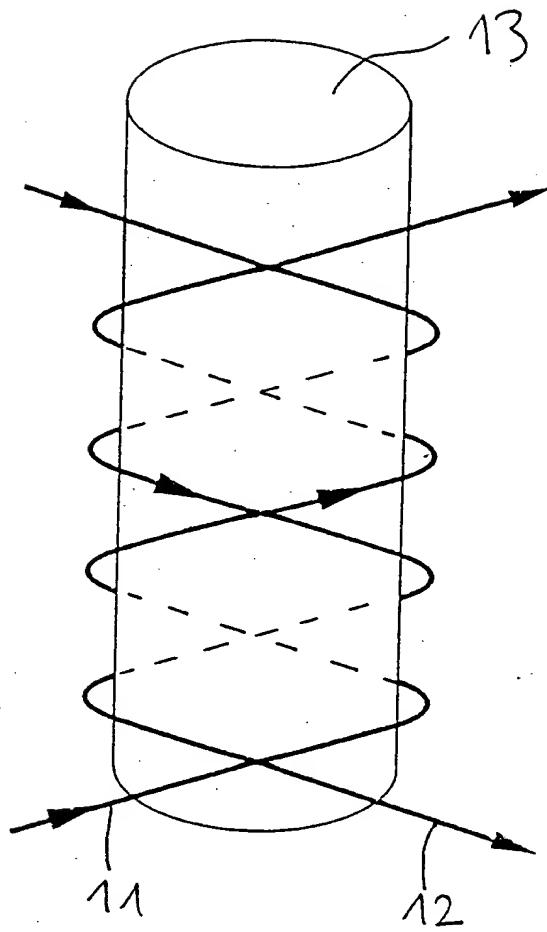


FIG. 3

THIS PAGE BLANK (USPTO)